



海岸異常波浪觀測之研究

陳盈智／國立成功大學近海水中心 助理研究員

董東璟／國立成功大學水利及海洋工程學系 教授

林芳如／中央氣象局海象測報中心 課長

滕春慈／中央氣象局海象測報中心 主任

海岸異常浪 (Coastal Freak Waves) 又稱為瘋狗浪，過去頻繁出現在海岸區域，是岸邊突然出現的巨大浪花，足以將人衝擊入海。由於瘋狗浪不知何事會發生，過去記錄的案例非常稀少，使得相關研究也相對罕見。本研究藉由分析光學影像資料，增加海岸瘋狗浪的案例資料。根據案例分析結果也發現，海岸瘋狗浪發生的型態並非只有一種，且從過去長期影像之分析結果，本研究發現波高大小與瘋狗浪發生與否無高度相關性，顯示尚有其他因素的影響。本研究所提出的瘋狗浪案例判釋方法，亦可應用在其他海岸，藉以蒐集更加完善的資料，對於掌握海洋災害特性，提供後續研究災害發生的機制以及建置預警模式之基石。

關鍵詞：海岸異常波浪、瘋狗浪、光學影像

前言

科技發展日新月異，海洋中極端海象大多都已可準確預測，海上災害大多得以避免。然而，使船隻翻覆等海上危害事件的原因大多是遭受「瞬變」的異常海象，船隻難以應付則造成傷亡，海上異常波浪 (Freak Wave; Rogue Wave) 即屬瞬變的異常海象，異常波浪的定義是波高為示性波高兩倍以上的波，突然發生也順漸消失，是海洋中相對大的波浪，此種波浪被認為是造成海洋中航行船隻失事的原因之一。然而異常波浪也可能會發生在岸邊，為海岸瘋狗浪 (Coastal Freak Waves)，過去在東北角沿海，有許多釣客經常受到這種難以預測的海岸異常波浪襲擊，坊間媒體又稱之為瘋狗浪，典型的瘋狗浪如圖 1，發生在 2014 年黃蜂颱風期間，對海邊的釣客或遊客具有很大的威脅性，國內每年總會發生十幾件瘋狗浪襲人事件，過去累計造成死傷人數達數百人之多，然而瘋狗浪發生的機制複雜，尚未完全被掌握，因此要準確地預測發生時間或發生地點，尚無法做得到。

海岸瘋狗浪是描述海岸邊突然激起的浪花，且浪花的動能足以將人沖倒造成傷害，然而過去的瘋狗浪完整的影像紀錄並不多，大多案例來自於報章媒體和救災報案紀錄，若發生瘋狗浪而沒有發生意外事件，或是發生事件沒有被報導則不會有紀錄，此外媒體或報案紀錄本身具有一定程度的不確定性。而案例蒐集不易也導致過



圖 1 基隆海岸瘋狗浪案例 (2014 年黃蜂颱風期間)

去在瘋狗浪相關的研究非常稀少，相關的研究如 Chieh *et al.*^[1] 蒐集近海與海岸的瘋狗浪案例，並針對這些案例發生時的海氣象特徵進行討論；Tsai *et al.*^[2] 認為瘋狗浪的發生與颱風或東北季風有關，且發現群波現象與瘋狗浪發生有高度相關，同時也從影像與波浪資料討論瘋狗浪案例，也發現瘋狗浪容易發生在三個週期相當的波群當中。考量沿海地區的民眾活動安全的保障，海岸或海洋工程必須考慮這類突發、極端或具有災害性的波浪的影響。在前期研究中^[3,4]，也嘗試以機器學習的方法建置瘋狗浪預警系統，預期透過預警來降低其危害性，然而系統的建置需要大量的案例進行訓練與驗證，才能確保系統的預警能力。

因此在案例蒐集上需要以連續觀測的方式，在同一地點持續監測，才能完整地蒐集海岸瘋狗浪案例，連續觀測亦能完整的掌握案例發生形成的過程，用於探討浪花的特性，窺探瘋狗浪的發生機制，相關案例也能進一步應用來建置預警系統，完善預警系統並確保其預警能力。

波浪觀測技術與瘋狗浪觀測資料

目前常見的波浪觀測技術包含接觸式與非接觸式兩種，傳統觀測技術以接觸式為主，例如裝載三軸加速度儀的浮標系統，是目前最廣泛被應用在波浪觀測的儀器，也是中央氣象局、水利署於海象觀測的主要儀器，藉由記錄浮標本體隨水面的運動，同步觀測水面運動加速度，假設浮標本體的運動與水面變化相同，則可利用浮標的垂直加速度計算求得水位變化，目前開放海洋中大多是使用此種觀測技術量測波浪，過去亦有許多颶

風期間極端大浪成功觀測的紀錄^[5]；另外高精度全球衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）也是具有潛力的測波工具之一，應用內政部國土測繪中心之虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station Real-Time Kinematics, VBS-RTK），裝載於浮標上，亦能量測得到公分等級精確度之水位高程資料^[6]，也是近年來逐漸被應用於海洋觀測上。其他傳統的接觸式觀測技術包含底錠式壓力或聲波計，水底的壓力與水位有關，因此藉由底錠式的壓力計量測壓力變化即可推得水位之高低變化，而聲波計則是利用聲波碰到水面反射回傳的時間差計算水位。在遙測觀測技術方面，常見的如光學（optics）系統和雷達波（radar）系統，Lehner *et al.*^[7]、Dankert *et al.*^[8] 應用衛星雷達影像或微波雷達影像去分析海洋中的極端大波浪（extreme wave），這種觀測技術具有空間的資訊，因此對同一個海域波浪長期統計具有其優勢在，但這方法無法應用至海岸邊瘋狗浪觀測。因此岸邊光學觀測是觀測海岸瘋狗浪的可能工具之一，岸基光學攝影機具有成本低與容易建置等特性，影像常被應用在海岸災害的監測，如裂流監測（Rip current）^[9-11]、海岸線變遷^[12,13]等，從觀測原理來看，應用光學攝影機監測海岸瘋狗浪是目前較為可行的方法。

台灣海岸瘋狗浪襲人落海事件頻傳，中央氣象局近年來規劃建置一套環台近岸異常浪光學觀測系統，目標在每個縣市至少有一站光學影像監視站，連續不間斷的監測瘋狗浪，目前各個縣市架設瘋狗浪監視站規劃如圖 2，圖中藍框的站點已完工或於 2022 年底前會完工，其餘站點已初步完成規劃，正在逐站建置當中。



圖 2 中央氣象局規劃全台近岸異常浪光學監測站

瘋狗浪成因與過去案例說明

近年來，台灣每年平均發生數起浪襲落海的案例，瘋狗浪落海事件發生地點統計結果如圖 3 所示，自 2000 年迄今本研究蒐集 398 件瘋狗浪落海事件，傷亡人數達 688 人，每年平均發生 17 事件，造成 29 人落海。在空間分布上，瘋狗浪案例遍布台灣四周海岸，其中以新北市、基隆市與宜蘭縣所處的台灣東北部海岸最多，共計有 207 件，佔全部事件 70% 左右。若考慮瘋狗浪事件時間分布，各月分發生分布結果如圖 4 所示，可發現瘋狗浪發生時間大多集中在東北季風盛行時期的 9~12 月，台灣東北部海岸就正對著季風所帶來的浪。本研究將對不同季節所發生的瘋狗浪進行統計，同時以春季為 3~5 月、夏季為 6~8 月、秋季為 9~11 月、冬季為 12~2 月進行劃分，瘋狗浪事件發生次數最多的季節為秋季，佔全部事件 42%，其次為冬季佔 26%，颱風警報發布期間所佔的比率並不高，反之在颱風季節，但未發布颱風警報時，亦有瘋狗浪發生的事件。

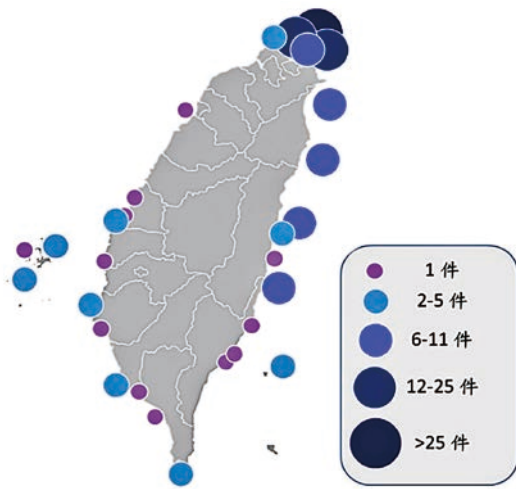


圖 3 臺灣海岸區域發生瘋狗浪襲人事件之位置圖 (資料時間：2000~2021)

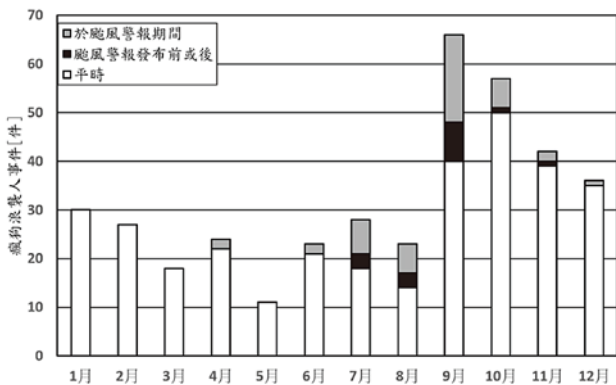


圖 4 各月份發生瘋狗浪襲人落海事件統計 (資料時間：2000~2021)

當風域距離海岸邊很遙遠時，在近岸區域並不會有很大的風浪存在，當波浪離開吹風區的浪後，會產生波與波之間時間週期較長得浪，又稱為湧浪或長浪，若這種浪傳至岸邊後，在近岸區域有可能會發生瘋狗浪，將岸邊人員捲入海中。在過去當西北太平洋海面上有颱風（尤其是強颱）時，台灣地區就會出現這種因長週期導致近岸瘋狗浪襲人的典型案例，例如 2017 年 9 月在基隆防坡堤所發生越堤的瘋狗浪事件，當天泰利颱風已轉向日本，且距離台灣 1,500 公里，但颱風中心傳來的浪花襲擊防坡堤上正在舉行釣魚比賽的選手，不僅造成百餘位釣客陷入險境，甚至將車輛打入海中，所幸並未有人員傷亡；2015 年 4 月於花蓮七星潭附近海域發生的浪襲事件，當則是有梅莎颱風像菲律賓海域前進。這種湧浪所引致的瘋狗浪能量非常的強大，在 2014 年 7 月距離台灣 800 公里處有浣熊颱風，而新北市野柳地質公園附近，即便周圍均有圍欄防護，仍有 7 名遊客被突如其來的大浪所打傷，所幸並未有人罹難。同年 10 月在黃蜂颱風期間，發生一件剛好被民眾拍攝記錄下來的瘋狗浪事件，甚至被媒體爭相報導，事件經過是當長浪接傳至基隆海洋大學防坡堤時，正好路過的摩托車騎士被瘋狗浪沖刷入海。然而並非所有事件都如上述案例沒有人罹難，在 2021 年 10 月巴比倫颱風在台灣外海向日本遷移時，位於宜蘭縣梗枋漁港海堤上，就出現將釣客連同車輛捲入海中的瘋狗浪浪襲事件，造成 3 人傷亡的慘劇。台灣有史以來最嚴重的瘋狗浪事件則是發生於 2013 年 11 月海燕颱風期間，該颱風當年被稱之為地表最強風暴，在距離台灣約 1,600 公里的菲律賓附近，在新北市龍洞鼻頭步道正在從事戶外教學的社區大學 16 人遭傳來的巨大長浪沖刷入海，造成 8 死 8 傷的慘劇。

長浪造成的落海傷亡事件相當常見，在台灣甚至年年發生，根據上述所蒐集近 20 年來台灣海岸發生的 398 件風狗浪案例中，共計有 78 件與長浪有關，然而當中僅有 14 件是發生在中央氣象局颱風警報發布期間，反之有 8 成（64 件）長浪引致的瘋狗浪事件發生在沒有警報時，倘若僅依照目前我國氣象局所能提供的颱風僅報訊息來評估海域安全實屬不足，顯而易見的便是長浪侵襲時並非颱風警報發布的期間，加上長浪是引起瘋狗浪常見的原因，若颱風仍距離台灣相當遙遠，或是長浪是發生於颱風發生前後，海岸區便會係屬高氣壓的好天氣，此時若突如其來一個大浪，意外就有可能發生。

瘋狗浪分析與觀測結果

本研究優先選用落海事件累積數量排名最高的新北市貢寮區龍洞海岸，過去累積發生 42 件案例，共 113 人落海。攝影機架設龍洞海岸，攝影機規格為 200 萬畫素，影像更新頻率為 25 fps (frame per second)，由於為光學攝影機，僅記錄白天時刻的海岸影像。

攝影機原始影像為記錄紅綠藍等三原色之全彩格式，本研究簡化其分析程序，將全彩影像進行灰階化，從灰度值 (gray scale value, GSV) 的變化進行浪花辨識，其分離的方法，本研究採取影像二值化的方法，將浪花的範圍從影像中分離出來，如此再進一步計算浪花邊界，即可得到浪花參數如單位水量、最大浪花高度、和水量變化率 (流量) 等等，並做為進一步評估是否為足以將人沖倒的瘋狗浪案例，詳細分析過程可參考中央氣象局 [14]。瘋狗浪是指在海岸地區會對人造成危害之浪花，過去有許多研究討論人在洪水中的穩定度，並以水深與流速定義人無法站立的臨界條件，用以評估洪水的危害性；而其概念與瘋狗浪類似，因此在前期研究中亦參考國外研究成果，定義出瘋狗浪的準則。

何種的浪花可稱之為瘋狗浪？若以高度來看，假設將浪花高度超過 1 倍人高視為瘋狗浪，人高假設為 165 公分，圖 5 顯示 2016 年 8 月 12 日 13 時在新北市龍洞一支岬頭觀測到的一組典型影像，從圖中可見有數位釣客站立於岬頭上，海況平穩，突然間出現的一個大浪花襲來，它從形成到消失在五秒以內，且超過一個人高度，該案例從浪花生成至消散過程均完整地被攝影系統記錄，從影像紀錄來看，此例可視為一個典型的瘋狗浪案例。此礁岩前方約 1 公里處有中央氣象局佈放之龍洞海氣象浮標，事件當時之海況觀測結果相當平穩，示性波高僅 0.75 m，平均週期為 5.5 秒，當時天氣也相當晴朗，平均風速為 3.7 m/s，因此即使海況平穩、天氣晴朗，海岸上仍有可能生成瘋狗浪。另外一個類似的案例，如圖 6 所示，該例為前案發生前數小時，波高小於 1 米，平均風速 5 m/s，從影像中可發現一位站立在礁岩上的釣客，受到突然出現的激浪衝擊，上述兩例反映一個事實，假使某時刻出現了瘋狗浪，其在短時間內 (如當天) 再現機率甚高。

除了前述這種突然激起的大浪以外，本研究檢視過去龍洞監視站影像紀錄，發現一種型態的激浪，波浪與礁岩交互作用後並非形成大浪花，而是海水沿著礁岩迅速爬升，其形態與波浪溯升或海嘯均有所類似，此類的



圖 5 典型瘋狗浪案例 (2016/8/12 13:00)

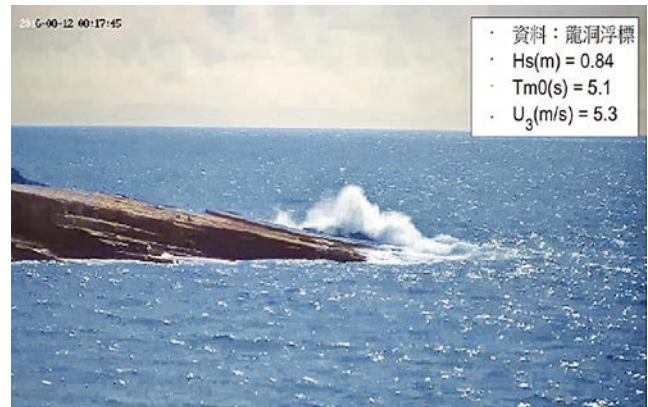


圖 6 典型瘋狗浪案例 (2016/8/12 08:17)

浪花亦具有危害性，可稱之為溯上型瘋狗浪，例如圖 7 為 2016 年 8 月 29 日下午 14 時發生的案例，這類型的瘋狗浪生成時，不一定會巨大浪花，波浪破碎後，沿著礁岩流動的海水高度並不深，在影像上較不顯著，與前述討論波浪與礁岩交互作用引起的浪花形態相當不同，但是假使它的流速夠快，亦足以將人衝倒入海。

龍洞海岸是東北季風直接影響的海域，每年東北季風吹拂時，台灣東北部地區風速強勁，本研究蒐集東北季風期間的影像，如圖 8 所示，由於受到強勁的東北季風影響，這期間龍洞影像顯示浪花高度約略為 2 個人身高，除風速較大外，示性波高均有 1 m 以上。圖 9 為湧浪較為顯著時的影像，可見該瘋狗浪的浪花水量較大，從鄰近龍洞浮標觀測結果顯示，該案例示性波高達 1.5 公尺以上，尖峰週期為 9 ~ 10 秒，風速約介在 5 m/s，顯示當時區域風皆不顯著，而尖峰週期達 9 秒以上，顯示有較長週期的湧浪能量傳抵該區域。

綜整上述，影像監視站觀測系統可清楚記錄瘋狗浪影像從生成至消散整體過程，分析過程中，發現瘋狗浪型態可能包含 2 種以上，第一是典型的巨大浪花型態，第二是沿著礁岩上溯的溯上型瘋狗浪。本研究從光學監



圖 7 溯上型瘋狗浪案例 (2016/8/12 08:17)



圖 8 東北季風期間影像瘋狗浪案例



(a) 2018/09/29 11:54



(b) 2016/08/11 09:49:58

圖 9 湧浪顯著期間影像瘋狗浪案例

測站分析得到之瘋狗浪案例影像，依照上述方法分析自建站以來至 2020 年的影像，分別得到 17,585 個，若配合波浪觀測，以一小時內出現一筆以上及當作該小時內有瘋狗浪發生的原則，將資料離散化整理，得到有 1,831 個小時出現瘋狗浪，估算瘋狗浪發生機率約為 16.4%。本研究亦探討瘋狗浪之出現與海氣象間的關係，考量龍洞海域分析所得之瘋狗浪案例較多，代表性較為充足，統計瘋狗浪發生時浪花高度與尖峰週期和波浪尖銳度之分布情形，如圖 10、圖 11。分析結果顯示，瘋狗浪之發生與波浪單一屬性並無顯著關係，或許係由 2 個或 3 個以上因素共同造成，有待後續進一步探討。

結論

海岸瘋狗浪的發生是岸上的釣客與活動民眾的潛藏危害，但是目前對於瘋狗浪監測的研究有限，且瘋狗浪不知何時何地會發生，相關案例資料取得不易。本研究以在岸邊架設光學影像監視設備的方式進行瘋狗浪監測，希望蒐集更多瘋狗浪案例。在海岸浪花影像分析的部分參考前期研究成果，並應用於龍洞光學監視站影像，分析 2016 年至 2000 年設置在新北市龍洞灣的攝影機影像，共分析獲得了 17,585 筆瘋狗浪，

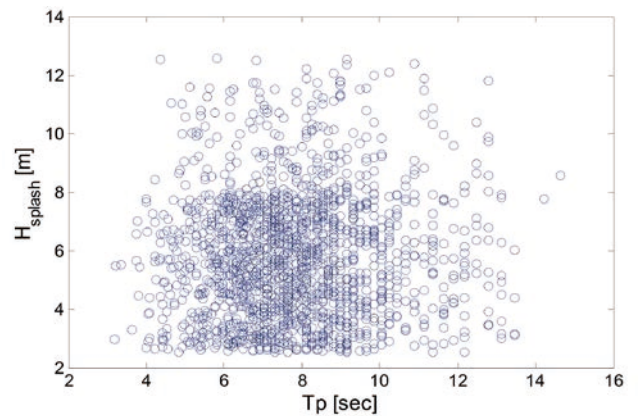


圖 10 瘋狗浪花高度與尖峰週期之比較 (現場資料: 龍洞浮標)

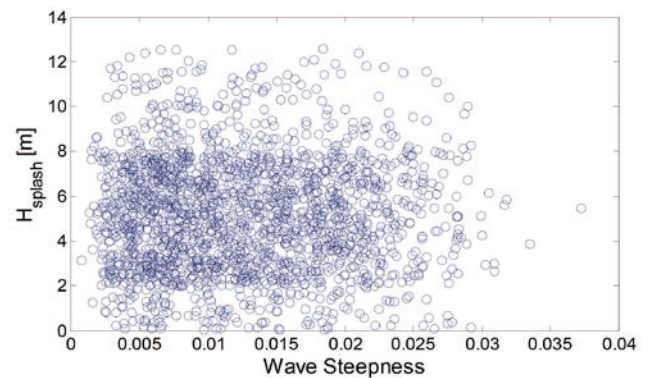


圖 11 瘋狗浪花高度與波浪尖銳度之比較 (現場資料: 龍洞浮標)

顯示瘋狗浪發生的頻率相當高，從觀測到的瘋狗浪影像，除了典型的瘋狗浪案例外，也發現了一種溯上型態的瘋狗浪，同樣具有危險性。本文亦分析所得之瘋狗浪案例時周遭的海氣象環境，發現瘋狗浪之發生與入射波浪的波高、週期並無關聯性，顯示瘋狗浪的發生機制並非僅受入射波浪所影響，尚有其它很多因子。本文引用前期研究提出之瘋狗浪分析方法，大量分析龍洞瘋狗浪案例，初步顯示可行。目前中央氣象局也正逐步建立瘋狗浪監測網，本研究認為可應用瘋狗浪影像分析方法，分析海岸光學影像，可蒐集到更充足的瘋狗浪案例，除了案例的特性分析結果，亦可作為後續研究對於瘋狗浪建立預警系統的基礎。

參考文獻

- Chien, H. W. A., Kao, C. C., and Chuang, L. Z. (2002), On the characteristics of observed coastal freak waves. *Coastal engineering journal*, 44(04), 301-319.
- Tsai, C. H., Su, M. Y., Huang, and S. J. (2004), Observations and conditions for occurrence of dangerous coastal waves. *Ocean engineering*, 31(5-6), 745-760.
- Doong, D.J., Peng, J.P., and Chen, Y.C. (2018), Development of a warning model for coastal freak wave occurrences using an artificial neural network. *Ocean Engineering*, 169, 270-280.
- Doong, D.J., Chen, S.T., Chen, Y.C., and Tsai, C.H. (2020), Operational Probabilistic Forecasting of Coastal Freak Waves by Using an Artificial Neural Network. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 165, doi:10.3390/jmse8030165.
- Liu, P. C., Chen, H. S., Doong, D. J., Kao, C. C., and Hsu, Y. J. (2009), Freaque waves during Typhoon Krosa. *Ann. Geophys*, 27, 2633-2642.
- Lin, Y. P., Huang, C. J., Chen, S. H., Doong, D. J., and Kao, C. C. (2017), Development of a GNSS buoy for monitoring water surface elevations in estuaries and coastal areas. *Sensors*, 17(1), 172.
- Lehner, S., Schulz-Stellenfleth, J., and Niedermeier, A. (2002), Detection of extreme waves using synthetic aperture radar images. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 3, pp. 1893-1895, IEEE.
- Dankert, H., Horstmann, J., Lehner, S., and Rosenthal, W. (2003), Detection of wave groups in SAR images and radar image sequences. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 41(6), 1437-1446.
- Brander, R.W. (1999), Field observations on the morphodynamic evolution of low wave energy rip current system. *Mar. Geol.* 157, 199-217.
- Dalrymple, R.A., MacMahan J.H., Reniers A.J.H.M., and Nelko V. (2011), Rip currents. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 43:551-81.
- Akila, D.S., Mori, I., Dusek, G., Davis, J., and Pang, A. (2021), Automated Rip Current Detection with Region based Convolutional Neural Networks. *Coastal Engineering* 166, 103859.
- Didier, D., Bernatchez, P., Augereau, E., Caulet, C., Dumont, D., Bismuth, E., Delacourt, C. (2017), LiDAR validation of a video-derived beachface topography on a tidal flat. *Remote Sensing*, 9(8), 826.
- Pugliano, G., Robustelli, U., Di Luccio, D., Mucerino, L., Benassai, G., and Montella, R. (2019), Statistical deviations in shoreline detection obtained with direct and remote observations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(5), 137.
- 中央氣象局 (2021)·沿岸異常波浪預警系統之建置 (1/3)·研究計畫報告。

50週年系列活動議程預告

2023邁向50系列報導

2023.09.18 (Monday) ACECC 國際活動	morning	ACECC 45 th TCM	Howard Civil Service International House, Taipei
	afternoon	ACECC 45 th PCCM	
2023.09.19 (Tuesday) ACECC 國際活動	morning	ACECC 45 th ECM	Howard Civil Service International House, Taipei
	afternoon	Technical Tour for Foreign Guests	Danjiang Bridge (TBD)
	evening	Welcome Reception	
2023.09.20 (Wednesday) ACECC 國際活動	morning	2023 CICHE International Forum 3 to 4 Keynote Speeches	Everlight Building Taipei Tech University, Taipei
	afternoon	Two Parallel Sessions 1. TC-21: TDA Related Subjects 2. TC-29: Large-Scale Experimental Related Subjects 3. TC-26: Climate Change & Water Resource Related Subjects 4. Wind Farm Project Technical Section	
2023.09.21 (四) 50周年慶祝大會	上午	土木水利學會 50 周年慶 (The 50 th Anniversary of CICHE)	國際會議中心 (TICC, Taipei)
	下午	分論壇 1. 我國公共建設報告 (公路、高速公路、鐵路、高速鐵路、捷運、水利建設、自來水、電力、離岸風電等) (議程待定) 2. CICHE-JSCE WS / Future Leader Forum	
	晚上	大會晚宴 (Gala Dinner)	
2023.09.22 (五) 工程參訪	全天	工程參訪	新北捷運 (地點待定)